

后注浆技术在灌注桩施工中的应用

孟庆宇，王海逦
(中交一航局第一工程有限公司)

摘 要：建筑工程传统灌注桩施工在成孔过程中，孔壁残留的泥皮以及孔底难以清理干净的沉渣，减弱了桩体的侧阻力和桩端阻力，既造成了桩沉降量较大，又不能最大限度地发挥桩基的承载性能。为解决这一难题，清江浦 1415 街区项目采用灌注桩后注浆技术，在灌注桩成桩后一定时间内，对桩侧及桩底进行高压注浆，最终对本工程 4 根试验桩和 300 根抗压桩在相同条件下的静载试验分析得出结论，后注浆技术能够大幅度提高单桩竖向承载力，减少单桩沉降量。以本工程为实践经验，对后注浆技术操作简单、适用性强、可靠度高、承载力增幅大、工程造价低、工期短等诸多优点进行探究与总结，从而为今后类似工程提供借鉴。

关键词：建筑工程；灌注桩；后注浆

1 工程概况

清江浦 1415 街区项目位于淮安市清江浦区越秀路越秀桥东侧，地上部分 1 号楼是 4 层 23.9 m 高的商业楼；2 号、3 号楼是 3 层 16.80 m 高的商业楼；4-1 号楼是 2 层 12.75 m 高的商业楼；地下部分共 2 层，局部设置夹层。

本工程基础采用钻孔灌注桩后注浆施工技术，工程桩抗压桩共 300 根，先做 4 根试桩，均采用 $\phi 800$ mm 钻孔灌注桩，根据地质勘察报告可知桩端持力层为黏土，有效桩长为 40 m，试桩桩身混凝土强度等级为 C45，工程桩桩身混凝土强度等级为 C40，采用桩端桩侧复式后注浆工艺。

2 地质概况

工程位于淮安市清江浦区，施工时场地大部分为空地，原有建筑已基本拆除，地势较平坦。拟建场地在地貌上属黄泛冲积平原，本场地勘察深度范围内，地基土自上而下分为 7 层。①层为杂填土，②~⑤层为第四纪全新世沉积土层，⑥层以下为第四纪晚更新世(Q3)沉积的土层。①层：

杂填土(Q^{ml})，杂色，松散，以建筑垃圾夹粉土为主，含植物根茎，场区普遍分布。②层：粉土(Q^{pl})，灰黄色，稍密~中密，湿~很湿，摇震反应中等，无光泽，干强度低，韧性低。中压缩性土，仅在场区东侧分布。③层：粉质黏土(Q^{pl})，灰色，软塑，无摇震反应，有光泽，干强度中等，韧性中等。高压压缩性土，夹薄层粉土，场区普遍分布。④层：黏土(Q^{cl})，灰黄色，可塑，有光泽，干强度高，韧性高。夹粉土薄层，中压缩性土，场区普遍分布。⑤层：淤泥质粉质黏土(Q^{pl})，灰黑色，流塑，无摇震反应，稍有光泽，干强度中等，韧性中等。高压压缩性土，场区普遍分布。⑥层：黏土(Q^{cl})，黄色，可塑，含铁锰质结核，无摇震反应，有光泽，干强度高，韧性高。中压缩性土，场区局部缺失。⑦层：黏土(Q^{cl})，黄褐色，硬塑，含铁锰质结核及钙质结核，无摇震反应，有光泽，干强度高，韧性高。中等偏低压缩性土，场区普遍分布。

场地地层厚度埋深及层底标高统计见表 1。

表 1 场地地层厚度埋深及层底标高统计表

层号	厚度/m			层底深度/m			层底标高/m			数据/个
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
1	2.4	8.0	5.36	2.4	8.0	5.36	2.47	7.30	4.84	42
2	1.0	4.0	2.46	5.4	8.0	6.59	2.87	4.15	3.46	20
3	1.8	3.4	2.51	8.0	10.3	9.05	0.37	1.75	1.16	42
4	1.7	2.5	2.13	10.2	12.5	11.18	-1.63	-0.45	-0.98	42
5	3.8	10.5	7.81	14.0	21.8	18.99	-11.28	-4.43	-8.78	42
6	1.1	4.0	2.47	17.8	22.2	19.73	-11.98	-7.95	-9.59	18

注：统计厚度时每孔最后一层不参与统计。

3 灌注桩后注浆方案及施工技术参数

3.1 后注浆方案

后注浆工艺采用桩侧、桩底复式注浆，桩身注浆孔位置见图 1。在桩内对称预埋 4 根钢管(直径 32 mm、厚度 2.5 mm)用于压浆，注浆管应与钢筋笼加劲筋绑扎或焊接；注浆管应采用机械连接，

严禁采用焊接工艺；注浆头的长度、出浆孔径、孔距应符合设计要求，注浆阀应能承受 1 MPa 以上静水压力，注浆阀外部保护层应能抵抗砂石等硬质物的刮撞而不致使注浆阀受损，注浆阀应具备逆止功能，注浆孔设置于钢筋笼外侧。

施工过程中应注意检查注浆管与钢筋笼连接

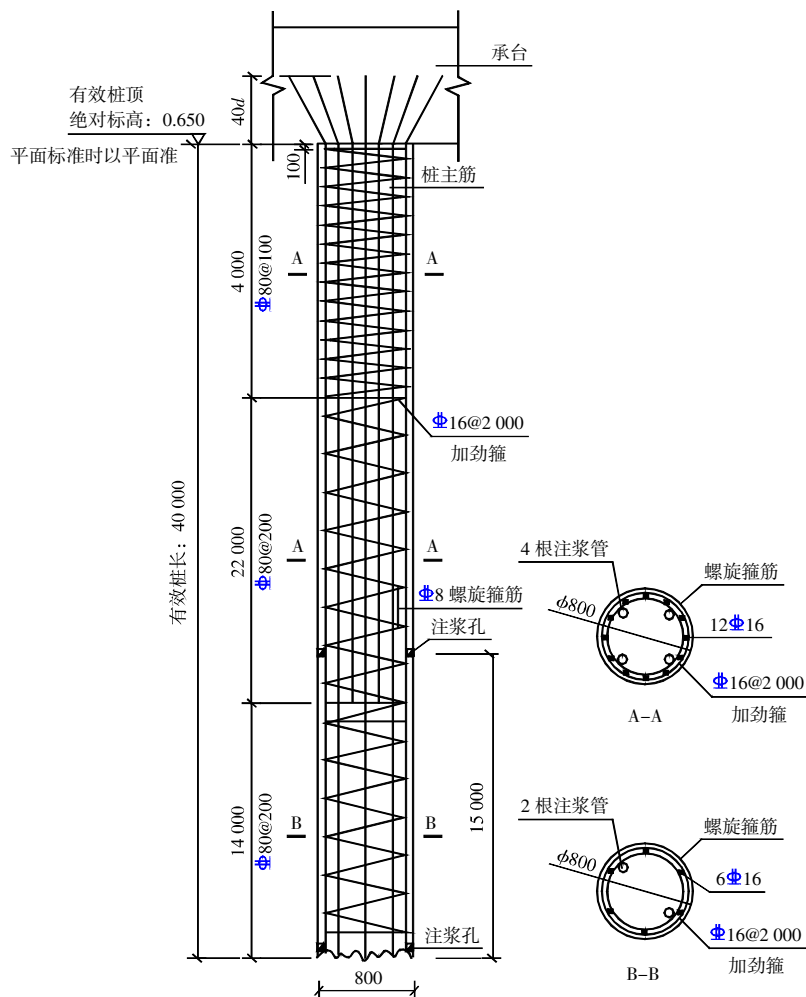


图 1 桩身注浆孔位置详图

是否可靠、牢固；注浆头是否用合适的橡胶模封闭、包裹；注浆管各节连接是否牢固、密封，及注浆管上端是否略高于地坪(一般高出 500 mm)，并具有良好的封堵，以防止杂物进入堵塞注浆管；检查进场的水泥量及水泥浆的水灰比。掺外加剂的，检查外加剂的掺量；后注浆作业前宜进行注浆试验，优化并最终确定注浆参数。

3.2 后注浆施工参数的确定

注浆参数主要包括注浆水灰比、注浆量以及注浆压力。由于地质条件的不同，不同工程应采

用不同的参数。在工程桩施工前，应先设定参数，然后根据设定的参数进行试桩施工，试桩完成后达到设计强度，进行桩的静载试验，最终确定试验参数。

1) 水灰比。水灰比一般不宜过小和过大，过小会造成注浆困难，过大会使水泥浆在压力作用下形成离析，设计参数水灰比为 0.6。

2) 注浆量。注浆量是指单桩注浆的水泥用量，与黏土层的黏土含量及桩间距有关，取决于黏土层的孔隙率。设计参数单桩水泥用量约 2.3 t，

单根注浆管水泥用量不宜大于 1.0 t。

3) 注浆压力。根据事先设定的注浆量来控制,但同时也要控制注浆的压力值。在达不到预先设定的注浆量但达到一定的压力时就要停止注浆,注浆的压力过大,一方面会造成水泥浆的离析,堵塞管道,另一方面压力过大可能扰动黏土层,也有可能使得桩体上浮。设计参数注浆压力值为 2.0~6.0 MPa,注浆流量不超过 75 L/min。

4 后注浆施工工艺

4.1 工艺流程

后注浆施工工艺流程为:灌注桩成孔→钢筋笼制作→注浆导管绑扎→灌注桩清孔→起吊沉放钢筋笼→桩混凝土灌注→注浆管净水清管开塞→配制水泥浆→实施注浆。

4.2 技术要求

1) 后注浆质量控制采用注浆量和注浆压力双控方法,以水泥用量为主,泵送压力控制为辅。

2) 后注浆水泥采用强度等级为 42.5 的普通硅酸盐水泥。

3) 注浆管应于桩身混凝土浇筑完成 24 h 内采用净水清管;注浆作业宜于成桩 2 d 后开始;不宜迟于 20 d。

4) 桩身混凝土号初凝时(一般为 2 d 以后),将水泥浆通过预埋管压入桩底及桩周,记录压力值和起开开启情况。

5) 当满足下列条件之一时,可终止注浆:

①注浆总量和注浆压力均达到设计要求;

②注浆总量已达到设计的 75%,且注浆压力超过设计值。

6) 当注浆压力长时间低于正常值或地面出现冒浆或周围桩孔串浆,应改为间歇注浆,间歇时间宜为 30~60 min,或调低浆液水灰比。

7) 后注浆施工过程中,应经常对其各项工艺参数进行检查,发现异常应采取相应处理措施。

8) 在桩身混凝土号强度达到设计要求的条件下,承载力检验应在注浆完成 20 d 后进行,浆液中掺入早强剂时可于注浆完成 15 d 后进行。

9) 施工中要对桩侧和桩底注浆管明确标识,注浆顺序为先桩侧后桩端;桩侧与桩端注浆间隔时间不少于 2 h。

4.3 技术原理

4.3.1 注浆桩位的选择

桩侧后注浆能够破坏和消除泥皮,填充桩侧

土的间隙,提高桩侧与周围土体之间的黏结力,当浆液压力增大时,浆液可渗透到土体中,与桩侧土体结合,相当于增大了桩径,从而提高桩侧承载力的目的。桩端后注浆与桩侧后注浆联合注浆能够同时发挥桩端、桩侧后注浆的作用,更有利于承载力的提高。

由此可见,后注浆技术通过注浆改善桩端土体、孔底沉渣、桩侧土体、泥皮的性状使得桩的承载能力得以增强,增强情况跟目标土体的土质、浆液扩散方式和注浆部位等条件相关。

4.3.2 清孔

清孔有 2 个作用:1) 清水开塞,避免注浆时注浆管及桩底孔隙的堵塞,保证注浆能顺利进行;2) 将桩端注浆阀夹杂在碎石、卵石中的泥质碎屑冲洗干净,可以提高注浆后形成的混凝土体的强度。

4.3.3 注浆施工顺序

注浆时最好采用整个承台群桩一次性注浆,注浆先施工周围桩位再施工中间桩位;注浆时采用 2 根桩循环注浆,即先注第一根桩的桩侧管,注浆量约占总量的 70%,注完后再注第二根桩的桩侧管,然后依次为第一根桩的桩端管和第二根桩的桩端管,这样就能保证同一根桩的桩侧管、桩端管注浆时间间隔在 2 h 以上,给水泥浆在土体中一个扩散的时间。注浆时应做好施工记录,记录的内容应包括施工时间、注浆开始及结束的时间、注浆量以及出现的异常情况和处理措施等。

4.3.4 加固机理

1) 化学作用

当浆液与土体充分接触后,水泥成分中的硅酸盐吸收周围土体中的水分,发生水化学反应,使得土体的含水量降低,土颗粒间的黏聚力提高,从而提高土体的抗剪强度。另一方面,由于水泥带入的钙离子置换土体中的钾离子和钠离子,将原土体矿物成分中的可溶、易溶盐转化为难溶盐,使土颗粒更好的胶结在一起,增加了连结强度,达到加固土体的目的。

2) 物理作用

物理作用主要为填充和挤密,而在不同的土性和浆液扩散方式下,作用情况又有所不同。在渗透性较好的砂、砾、卵石中,注入浆液的扩散以渗透为主,在较低的注浆压力下,注入浆液在不破坏土体结构的情况下,渗入到土体的孔隙中,

排出并取代孔隙中的空气和水,使土体得以加固。

在渗透性较差的黏性土中,注入浆液的扩散方式和土体加固方式随注浆压力的不同产生明显的差异:注入浆液在较低的注浆压力下,扩散形式以压密为主,注入的浆液很少向土体渗透,取而代之的是压缩周围土体,将注浆处的土体挤走,形成置换,同时使周围的土体产生压密加固土体,此种情况在软黏土中较为常见;当注浆压力提升,超过目标土体强度时,注浆压力使土体结构破坏,浆液在周围土体中形成劈裂缝,并填充劈裂缝,产生网状浆脉,其凝固后起到骨架作用,与脉体间的土体共同作用,达到提高土体强度的作用。

5 后注浆施工中出现的問題及相应处理措施

5.1 注浆阀开塞失败

在注浆阀开塞时瞬间压力值需高于正常注浆压力值,运用瞬间压力冲破注浆阀喷头,从而达到开塞目的。当压力达到 10 MPa 以上仍然打不开注浆喷头时,说明喷头部位已经损坏或堵塞严重,不要强行增加压力,可在另一根同侧管中补足注浆数量。

5.2 冒浆

注浆时常会发生水泥浆沿着桩侧或在其他部位冒浆的现象。若水泥浆液在其他桩或地面冒出,说明桩底已经饱和,可以停止注浆;若从本桩侧壁冒浆,注浆量也满足或接近设计要求,可以停止注浆;若从本桩侧壁冒浆且注浆量较少,说明初始注浆压力过大或泥浆护壁形成封闭层。首先清孔应该干净,在开塞成功之后,持续冲水 3~5 min,保证桩底的泥浆护壁能够被冲开。其次应该

控制好注浆的初始压力,遵守小压力、慢流速的注浆原则,严格控制泥浆比重,保证泥浆干透之后形成的泥皮不会太厚,不会形成封闭层。

5.3 单桩注浆量不足

注浆时最好采用整个承台群桩一次性注浆,注浆时先施工周圈桩形成一个封闭圈,再施工中间桩,保证中间桩位的注浆质量,若出现个别桩注浆量达不到设计要求,可视情况加大邻近桩的注浆量作为补充。

6 结语

分析经桩侧、桩端后注浆处理的灌注桩与普通灌注桩相比它所具有的优点,为以后的工程施工提供宝贵的经验。

1) 通过对本工程 4 根试验桩和 300 根抗压桩的静载试验分析研究,在相同条件下单桩竖向承载力一般可提高 20%~40%,最大可提高 80%以上,承载力提高的幅度与桩端持力层的性质密切相关;

2) 在一定压力下的浆液上返会增加桩与桩间土的黏结强度,从而提高桩的侧摩阻力,同时浆液的劈裂作用可渗入地层中,起到加筋作用;

3) 在设计时考虑后注浆对承载力提高的有利影响,可相对减少桩的数量,或减少桩长、桩径,能够缩短工期,节约成本。

参考文献:

- [1] DBJ/T 13-247—2016,灌注桩后注浆施工技术规范[S].
- [2] 周海亮. 建筑工程施工中灌注桩后注浆施工技术的有效运用分析[J]. 建材与装饰,2016(34):48-49.
- [3] 郑君权. 灌注桩后注浆施工技术在建筑工程施工中的应用研究[J]. 世界家苑·学术,2017(9):285.